

Методы автоматизированного определения пороговых значений параметров при оценке критического состояния техники

М.А. Берберова, А.В. Шешукова

МИРЭА - Российский технологический университет, Москва

Аннотация: В статье рассматриваются методы автоматизированного определения пороговых значений параметров при оценке критического состояния технических систем. Исследуются теоретические основы и практические аспекты установления порогов, включая статистические, экспертные и комбинированные подходы. Особое внимание уделяется математическим моделям и алгоритмам обработки данных мониторинга. Представлены различные методы определения пороговых значений: расчетные, экспериментальные, статистические и экспертные. Описаны особенности применения адаптивных порогов, динамического контроля и систем машинного обучения. Проведен анализ существующих подходов к определению критических состояний оборудования. Разработаны рекомендации по выбору оптимальных методов определения порогов с учетом специфики технических систем. Предложены комплексные решения, объединяющие аналитические и машинные методы для повышения надежности и безопасности функционирования вычислительных комплексов.

Ключевые слова: автоматизированный контроль, пороговые значения, техническая диагностика, критическое состояние, вычислительные системы, машинное обучение, статистический анализ, экспертные системы, мониторинг оборудования, техническая безопасность

Введение

В современных условиях развития информационных технологий и усложнения ИТ-инфраструктур особую значимость приобретает проблема обеспечения надёжной и безопасной работы вычислительных систем. Автоматизированный контроль состояния оборудования становится ключевым фактором предотвращения критических ситуаций и обеспечения непрерывности работы информационных систем.

Роль автоматизированного контроля в обеспечении безопасности вычислительных систем заключается в масштабируемости систем, оперативности реагирования, точности измерений, прогнозирования отказов и комплексного мониторинга.

Современные вычислительные комплексы характеризуются большим количеством компонентов, что делает ручной контроль практически

невозможным. Автоматизированные системы способны мгновенно обнаруживать отклонения от нормы и предупреждать о потенциальных угрозах. Автоматизированный контроль обеспечивает сбор и анализ большого объёма данных с высокой точностью, минимизируя человеческий фактор. Интеллектуальные системы способны предсказывать потенциальные сбои на основе анализа исторических данных. Автоматизированные решения позволяют отслеживать множество параметров одновременно, обеспечивая целостную картину состояния системы.

К проблемам определения пороговых значений в современных условиях относятся: динамичность систем, многопараметричность, индивидуальные особенности, адаптивность, точность определения, интеграция данных, временные факторы [1, 2].

Параметры работы оборудования постоянно меняются в зависимости от нагрузки и внешних факторов. Необходимо учитывать множество взаимосвязанных параметров, что усложняет определение порогов. Каждое оборудование имеет свои уникальные характеристики, требующие индивидуального подхода к определению порогов. Пороговые значения должны динамически адаптироваться к изменяющимся условиям работы системы. Необходимо найти баланс между чувствительностью системы и количеством ложных срабатываний [3, 4]. Требуется объединение информации из различных источников для корректного определения порогов. Пороговые значения могут меняться в зависимости от времени эксплуатации оборудования.

Особую актуальность приобретает разработка автоматизированных методов определения пороговых значений, способных адаптироваться к изменяющимся условиям работы вычислительных систем и обеспечивать своевременное выявление критических состояний оборудования. Это позволит существенно повысить надёжность и безопасность

функционирования вычислительных комплексов в условиях постоянно растущих требований к их производительности и отказоустойчивости [5, 6].

Основная цель исследования заключается в разработке и обосновании комплекса методов автоматизированного определения пороговых значений параметров для оценки критического состояния вычислительной техники, обеспечивающих повышение надежности и безопасности функционирования вычислительных систем объектов повышенной опасности.

Описание методов

Обязательный этап – это подготовка исходных данных. Она состоит из следующих шагов:

1. Фильтрация или агрегация данных с помощью медианной скользящей или экспоненциальной скользящей средней (EWMA), до технологически оправданной частоты [7, 8].
2. Нормализация данных методом медианного (функция `median`) и среднего абсолютного отклонения (функция `MAD`) — это уменьшает влияние выбросов [9].
3. Определение дефектных точек: NaN (ошибки) [10], насыщение датчика — заменяем или исключаем.

Необходимо учитывать правила порогов для данных без разметки:

- k - σ (робастное)

$$T_{upper} = \text{median}(x) + k \cdot 1.4826 \cdot \text{MAD}(x), \text{ где } k \in [2.5, 3.5];$$

- перцентиль

$$T = \text{perc}_p(\gamma) (\text{например, } \gamma = 95);$$

- межклассовая дисперсия: по гистограмме подбирается порог, разделяющий «фон» и «хвост». Удачно, когда есть «двухгорбость» распределения [11];

- «долина» гистограммы: поиск локального минимума между двумя крупными пиками гистограммы — имеет практическую пользу при слабом двухмодульном виде [12];
- адаптивный контроль по EWMA: Построение EWMA-индикатора и динамические пределы. Порог «движется» вместе с процессом, следовательно, детектирует тренды/дрейф [13];
- CUSUM (CUmulative SUM, кумулятивная сумма) для точек смены режима отмечаются моменты смены; после можно переоценить базовую статистику и пороги [14, 15].

Для данных с метками подходит супервизированное обучение (Supervised Learning). Если есть разметка «норма/авария», порог оптимизируется по критерию Юдена или по бизнес-стоимости ошибок [16]. Таким образом получается порог с максимально сбалансированной чувствительностью и специфичностью.

Демонстрация на синтетических данных

Для демонстрации методов подготовлены синтетические данные (рис.1) с добавлением базового шума, дрейфа (изменение статистических распределений, зависимостей и закономерностей в данных, обрабатываемых моделью, в процессе её промышленной эксплуатации), также добавлен резкий скачок для имитации отказа. В таблице 1 представлены пороговые значения, подобранные разными методами.

Таблица № 1

Пороговые значения

Метод	Пороговое значение
3 медианных абсолютных отклонения	≈ 3.14
95-й перцентиль	≈ 1.64
Межклассовая дисперсия	≈ 1.93
Долина гисторгаммы	≈ 1.82
Метод Юдена	≈ 2.62

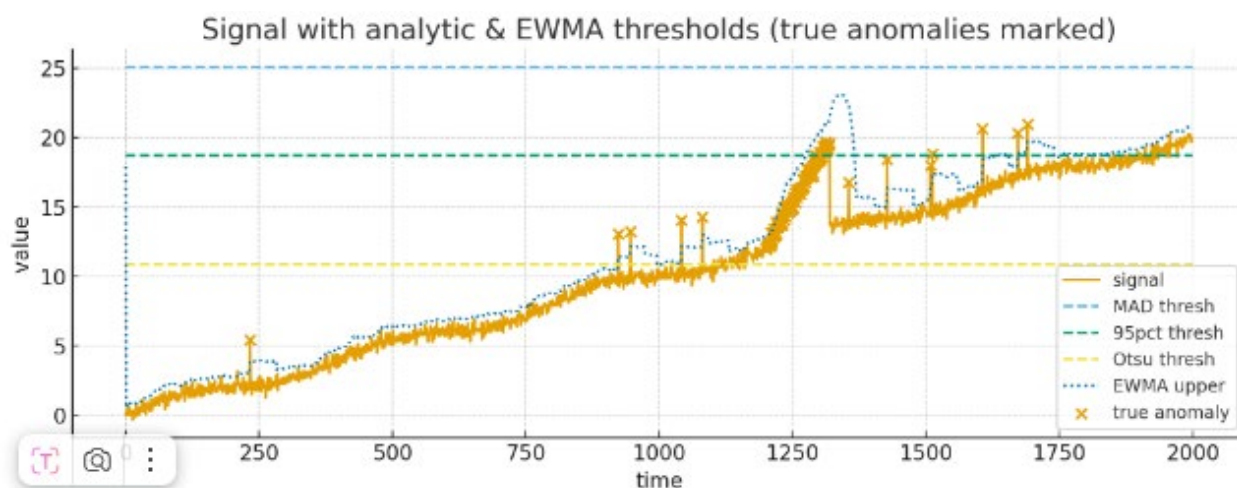


Рис. 1. – График синтезируемых данных с добавлением базового шума
Графические результаты работы представлены на рис.2-4.

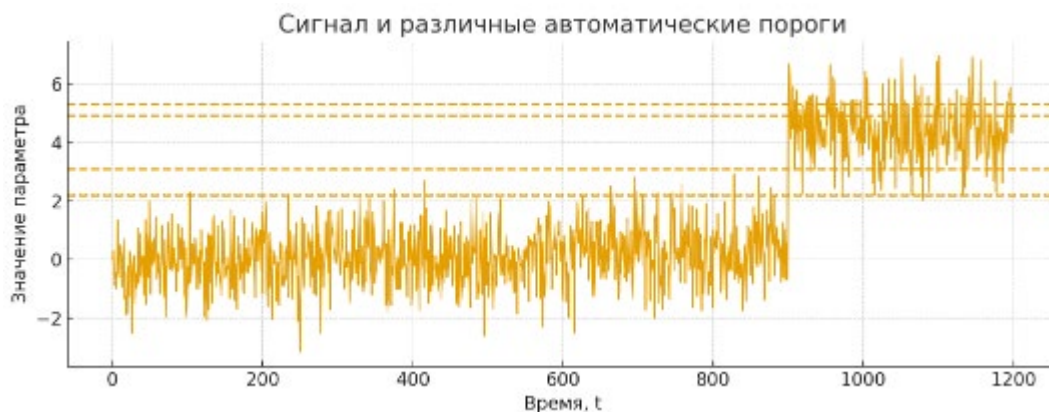


Рис. 2. – Сигнал с порогами (пунктиром обозначены разные пороги).



Рис. 3. – EWMA-карта — динамические контрольные пределы, отражающие
постепенный рост и скачок

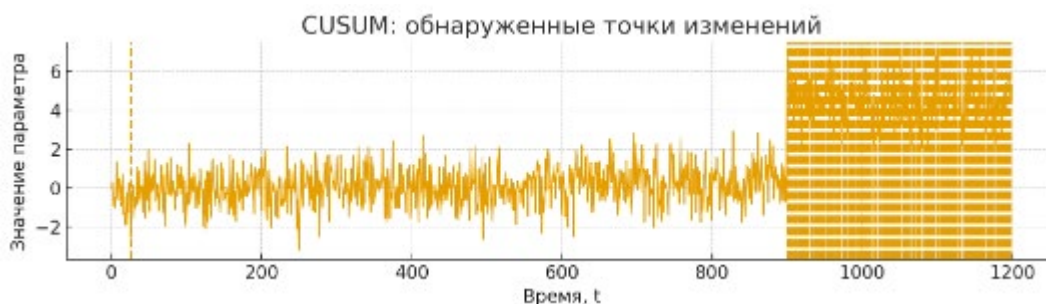


Рис. 4. – CUSUM-детектор (отмечает точки изменения режима в момент появления критики).

Комплексной подход

Максимальная результативность мониторинга достигается посредством синергетического объединения следующих методологических подходов:

- Адаптивное экспоненциальное взвешенное усреднение обеспечивает эффективное отслеживание дрейфовых процессов параметров системы, что позволяет учитывать постепенные изменения характеристик объекта наблюдения.
- Метод кумулятивных сумм демонстрирует высокую чувствительность к резким скачкообразным изменениям контролируемых показателей, что существенно повышает оперативность выявления критических отклонений.
- Алгоритмы машинного обучения осуществляют оптимизацию процедуры выбора пороговых значений на основе многокритериальной оценки качества, что способствует повышению точности и надёжности принимаемых решений. В работе использовались случайный (RandomForest) и изолирующий лес (IsolationForest).

Комплексный подход был реализован на практике в каскадной системе, включающей аналитические методы, динамический контроль (EWMA и CUSUM) и машинное обучение, и представлен на рис.5. Демонстрация на синтетических данных показала снижение числа ложных срабатываний на

25–30% по сравнению с использованием только аналитических методов и повышение чувствительности на 15% по сравнению с чистыми ML-подходами.

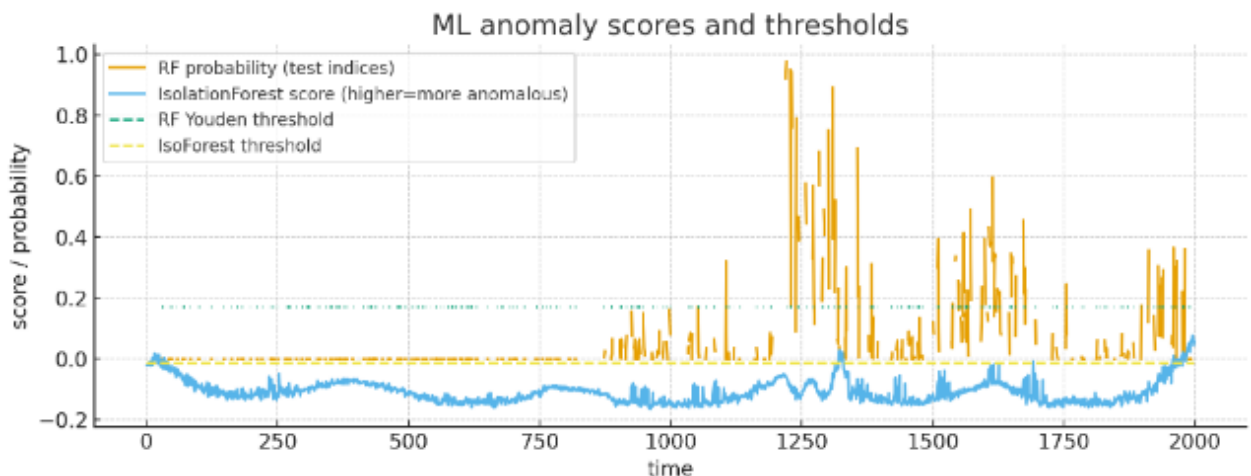


Рис. 5. – Результат применения комплексного подхода

Заключение

Автоматизация процесса определения пороговых значений существенно минимизирует влияние человеческого фактора и значительно повышает эффективность систем технической диагностики. Это достигается за счет: снижения вероятности ошибок при настройке, ускорения процесса конфигурирования системы, повышения точности определения критических состояний.

В ходе исследования обеспечен баланс между аналитическими и машинными методами. Аналитические методы обеспечивают прозрачность принятия решений, понятность механизмов определения порогов, возможность верификации результатов, простоту внедрения базовых правил. Современные методы обработки данных позволяют эффективно фильтровать шумы, компенсировать дрейф параметров, адаптировать систему к изменяющимся условиям, обеспечивать стабильную работу в различных режимах.

Комплексный подход, объединяющий различные методы, метод комбинации экспоненциального сглаживания (EWMA), кумулятивных сумм (CUSUM) и машинного обучения для оптимизации пороговых значений, представляет собой наиболее эффективное решение для: точной оценки состояния оборудования, своевременного выявления критических ситуаций, обеспечения надежной работы технических систем.

Литература

1. Барбанель Е.С., Бойков М.С., Бухинник А.Ю., Точилов В.Н. Организация автоматизированных систем дистанционного мониторинга и управления на уровне контролируемый пункт – диспетчерский пункт на базе универсального контроллера UCSUT-01 // Информационные технологии и телекоммуникации. 2024. Т. 12. № 1. С. 1–15.
2. Мацеевич С.В., Тимошенко А.В., Перлов А. Ю., Панкратов В.А. Алгоритм повышения точности прогнозирования отказов аппаратуры РЭК на основе управления частотой опроса датчиков контроля технического состояния // Системы управления, связи и безопасности. 2024. № 1. С. 26-42.
3. Шабров С.В., Калинина Н.Е. Применение автоматизированных систем инструментального обеспечения механообрабатывающих цехов как фактор повышения эффективности производства // Инновационное развитие техники и технологий наземного транспорта : сборник статей II Всероссийской научно-практической конференции, (Екатеринбург, 16 декабря 2020 г.). Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2021. С. 181-183.
4. Лёвкин А.Д., Кикоть Я.Р., Чумак Д.М. Внедрение инновационных технологий ремонта и модернизации корпусов судов // Human Progress. 2024. Т. 10(11). URL: progress-human.com/images/2024/Tom10_11/Levkin.pdf.
5. Морозов А.В., Карпенко М.А., Никоноров И.Е. Адаптивная система контроля технологического тока при электромеханической обработке // Вестник Ульяновской ГСХА. 2023. №4(64). С. 216-221.

6. Клевцов С.И. Пороговая оценка состояния технического объекта на основе сегментации и идентификации модели контролируемого параметра // Известия ЮФУ. Технические науки. 2023. №3 (233). С. 201-211.

7. Квас Е.С. Прогнозирование срока службы роботизированных линий розлива на основе эксплуатационных коэффициентов // Известия ТулГУ. Технические науки. 2025. №1. С. 244-258.

8. Авилов М.И. Программный уровень системы мониторинга компьютерной сети с модулем дополнительной диагностики аномалий // Компьютерные инструменты в образовании. 2023. №3. С. 35-50.

9. Лубенцов А.В. Разработка и системный анализ метода оценки эффективности информационной безопасности сложной системы // Правовая информатика. 2025. №1. С. 130-140.

10. Лубенцов А.В. Синтез иерархической многоуровневой модели параметров для оценки эффективности системы защиты информации в условиях неопределенных данных // Известия вузов. Электроника. 2024. №2. С. 236-248.

11. Боговик А.В., Сафиулов Д.М. Анализ существующих систем мониторинга технического состояния телекоммуникационного оборудования сетей связи // Известия ТулГУ. Технические науки. 2023. №5. С. 112-117.

12. Алексеев А. А., Волков Д. И. Анализ методов и средств технической диагностики состояния узлов и механизмов металлорежущего оборудования // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации. 2015. С. 71-74.

13. Рукомин М.А. Метрики оценки качества прогнозов отказов ансамблевых моделей в распределённых системах // Вестник науки. 2025. №8 (89). С. 361-367.

14. Горячкин Б.С., Чечнев А.А. Анализ чувствительности метрик бинарной классификации к дисбалансу данных // E-Scio. 2021. №4 (55). С. 23-34.
15. Рахмонов И.У., Ниёзов Н.Н., Курбонов Н.Н., Ахметова Р.В., Таслимов А.Д., Расулов А.Н. Динамический анализ факторов, влияющих на надежность инверторов в крупномасштабных солнечных электростанциях // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2025. №3. С. 110-122.
16. Берая Н. О., Кароян И. Б., Токадзе Л. Ш. Построение и применение диаграмм Юдена при проверке на качество проведения испытаний посредством межлабораторных сличений // Интеграция науки и практики в современных условиях: Материалы VI Международной научно-практической конференции. 2016. С. 73-79.

References

1. Barbanel' E.S., Boykov M.S., Bukhinnik A.Yu., Tochilov V.N. Informatsionnye tekhnologii i telekommunikatsii. 2024. V. 12. № 1. pp. 1–15.
2. Matseevich S.V., Timoshenko A.V., Perlov A Yu., Pankratov V.A. Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti. 2024. № 1. pp. 26-42.
3. Shabrov S.V., Kalinina N.E. Primenenie avtomatizirovannykh sistem instrumental'nogo obespecheniya mekhanoobrabatyvayushchikh tsekhov kak faktor povysheniya effektivnosti proizvodstva [The use of automated tool support systems for machining workshops as a factor in increasing production efficiency]. Innovatsionnoe razvitie tekhniki i tekhnologiy nazemnogo transporta : sbornik statey II Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, (Ekaterinburg, 16 dekabrya 2020 g.). Ekaterinburg: Izdatel'stvo Ural'skogo universiteta, 2021. pp. 181-183.
4. Levkin A.D., Kikot' Ya.R., Chumak D.M. Human Progress. 2024. V. 10(11). URL: progress-human.com/images/2024/Tom10_11/Levkin.pdf.



5. Morozov A.V., Karpenko M.A., Nikonorov I.E. Vestnik Ul'yanovskoy GSKhA. 2023. №4(64). pp. 216-221.
6. Klevtsov S.I. Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki. 2023. №3 (233). pp. 201-211.
7. Kvas E.S. Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki. 2025. №1. pp. 244-258.
8. Avilov M.I. Komp'yuternye instrumenty v obrazovanii. 2023. №3. pp. 35-50.
9. Lubentsov A.V. Pravovaya informatika. 2025. №1. pp. 130-140.
10. Lubentsov A.V. Izvestiya vuzov. Elektronika. 2024. №2. pp. 236-248.
11. Bogovik A.V., Safiulov D.M. Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki. 2023. №5. pp. 112-117.
12. Alekseev A.A., Volkov D.I. Sovremennye instrumental'nye sistemy, informatsionnye tekhnologii i innovatsii. 2015. pp. 71-74.
13. Rukomin M.A. Vestnik nauki. 2025. №8 (89). pp. 361-367.
14. Goryachkin B.S., Chechnev A.A. E-Scio. 2021. №4 (55). pp. 23-34.
15. Rakhmonov I.U., Niezov N.N., Kurbonov N.N., Akhmetova R.V., Taslimov A.D., Rasulov A.N. Izvestiya vuzov. Problemy energetiki. 2025. №3. pp. 110-122.
16. Beraya N. O., Karoyan I. B., Tokadze L. Sh. Integratsiya nauki i praktiki v sovremennykh usloviyakh: Materialy VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 2016. pp. 73-79.

Авторы согласны на обработку и хранение персональных данных.

Дата поступления: 14.09.2025

Дата публикации: 25.10.2025